

髂股静脉支架置入术后再狭窄的影响因素研究进展

程震宇, 来庆国, 吴梦涛

(山东大学齐鲁第二医院血管外科, 山东 济南 250033)

摘要: 髂股静脉支架置入术后支架内再狭窄(in-stent restenosis, ISR)的处理是当前血管外科面临的难题。腔内治疗ISR的过程是艰难的。维持支架长期通畅也是一项巨大挑战。明确ISR的危险因素及病理特点有助于维持支架的远期通畅率。本文通过文献检索进行回顾性分析髂股静脉支架置入的手术指征以及ISR发生的近期和远期的危险因素;结合血流动力学原理,进一步分析ISR发生机制;依据ISR的病理特征总结ISR治疗的最新进展,以期为ISR的预防和治疗提供参考。

关键词: 髂股静脉; 支架置入术; 支架内再狭窄; 危险因素; 血流动力学

中图分类号:R654.4

文献标志码:A

Advances in influencing factors of in-stent restenosis after iliofemoral vein stenting

CHENG Zhenyu, LAI Qingguo, WU Mengtao

(Department of Vascular Surgery, The Second Qilu Hospital of Shandong University, Jinan 250033, Shandong, China)

Abstract: The management of in-stent restenosis (ISR) after iliofemoral vein stenting (IVS) is a challenge currently in vascular surgery. It is difficult for the process of endovascular treatment of ISR. Maintaining long-term stent patency is also a great challenge. Identifying the risk factors and pathological characteristics of ISR may help maintain long-term stent patency. In this article, a retrospectively analyze was conducted on the surgical indications for IVS and the short-term and long-term risk factors for ISR through literature retrieval. Based on hemodynamic principles, the mechanism of ISR was further analyzed. The latest progress in ISR treatment was summarized according to its pathological characteristics. It may provide references for the management of ISR.

Key words: Iliofermal vein; Stenting; In-stent restenosis; Risk factors; Haemodynamic

髂股静脉支架置入术(iliofemoral venous stenting, IVS)可显著缓解因髂股静脉重度狭窄或闭塞造成的下肢静脉高压,从而显著改善下肢疼痛、水肿甚至溃疡等慢性皮肤营养障碍的临床症状,目前已得到广泛应用^[1]。然而,由于IVS后支架内再狭窄(in-stent restenosis, ISR)而进行的再干预率可达5%~20%^[2],维持支架长期通畅仍是一项巨大挑战。因此,明确髂股静脉ISR的影响因素其发生机制,对维持支架长期通畅率具有重要意义。现综述如下。

1 IVS的指征

长期以来,IVS指征被认为是髂静脉直径的狭窄程度 $>50%$ ^[3],这源于判断动脉狭窄的概念,对于髂股静脉狭窄的判断可能是不合理的。动脉支架置入目的是恢复血液供应部位的再灌注,而静脉支架置入目的则是解决患处的静脉梗阻以及血流瘀滞,两者目的不同,概念的借用可能导致静脉

支架过度应用^[4]。当前,血管内超声(intravascular ultrasound, IVUS)对髂股静脉截面积的测定已成为判断髂股静脉管腔狭窄程度的金标准^[5-7]。Jayaraj等^[8]研究发现,重度髂静脉狭窄并不一定导致患者严重的临床症状。有文献倾向于一种观点,即:是否置入髂静脉支架,取决于患者临床症状的严重程度,经尝试保守治疗后无效,且IVUS测量髂静脉狭窄的截面积>61%的患者^[5,8]。IVS的最终目的是改善或治愈患者下肢的临床症状,提高其生活质量。

2 髂股静脉 ISR 的影响因素

2.1 IVS 术后近期再狭窄的影响因素

2.1.1 支架受压(stent compression, SC)

右侧髂总动脉或后方的椎体导致的左髂总静脉SC与ISR之间可能相互影响。Yang等^[9]在观察50例IVS术后患者发现,34%患者在术后支架有较明显受压(significant stent compression, SSC)组,66%未明显受压(insignificant stent compression, ISC)组,SSC组ISR发生率显著高于ISC组(52.9% vs. 21.2%, $P=0.023$),其原因可能是支架受压导致管腔面积的减少和血液动力学的变化。Jayaraj等^[10]观察了接受IVS术的578条肢体后发现,在术后第1天,80%发生一定程度的SC;在3、6、12个月分别有81%、79%和84%出现SC,且差异无统计学意义,这表明SC在支架置入后立即发生,随后保持稳定而不会持续进展。而在中位24个月随访期间,仅0.2%肢体接受单纯SC再干预,8.5%肢体接受ISR和SC再干预。表明SC虽然普遍存在,但很少进展到需要再次干预的程度。再干预的适应证必须是临床症状复发和生活质量下降。

2.1.2 髂股静脉阻塞流出道支架锚定区选择的影响

支架锚定区的位置也是ISR的危险因素之一。Fu等^[11]对32例早期发生支架内血栓或再闭塞的患者再干预后发现,支架定位不良与ISR相关;其中,8例因支架长度未完全覆盖远端病变,3例支架未完全覆盖近端流出道病变;而在完全覆盖病变位置的情况下,支架在髂腔静脉汇合处的不同锚定方式,也会影响ISR的发生。Kim团队^[12]根据所置入支架与下腔静脉(inferior vena cava, IVC)的位置关系,观察3种不同的支架近端锚定方式的病例,包括①覆盖髂腔静脉汇合处,不触及对侧IVC壁;②延伸至IVC,与对侧IVC壁接触;③远至髂腔连接处,

不覆盖汇合处。其中,术后第3类置入方式的ISR发生率最高。其原因可能是支架近端持续受到骑跨髂动脉搏动以及髂总静脉(common iliac vein, CIV)腔内纤维化病变的挤压,受累支架段径向力逐渐减弱变为锥形,支架容易向远端移位,导致流出道闭塞,并进一步引起支架闭塞。而支架延伸至IVC并与对侧IVC接触锚定,则会引起对侧髂静脉回流受限并导致血栓形成。因此,支架应完全覆盖髂腔病变部位,并准确锚定在髂腔汇合处且不触及IVC对侧壁,降低ISR发生的风险。

2.1.3 支架远端锚定区跨越腹股沟韧带的争议

IVS跨越腹股沟韧带锚定是否合理的争议仍然存在。文献报道支架远端延伸至腹股沟韧带以下锚定置入术后12个月内,ISR发生的风险高($HR=2.70$, 95%CI: 1.51~5.4, $P=0.0384$)^[13]。这可能是由于在支架远端锚定区的选择中,对远端流入道的判断仅在二维影像模式下鉴别,而未应用血管内超声进行确认,从而导致支架未能完全覆盖病变^[10,12]。然而,该研究样本数量少,且支架类型未统一,可能是导致风险比范围较大原因。另外,Avgerinos等^[14]和Kim等^[12]认为跨越腹股沟韧带进行支架置入且支架远端延伸至未病变静脉段并不影响远期通畅率。而且,不同的支架类型,跨腹股沟韧带置入后其远期通畅率并无显著性差异。Ardita等^[15]对63例慢性髂股静脉阻塞(chronic iliac vein occlusion, CIVO)和血栓后综合征(post thrombotic syndrome, PTS)患者分别应用Blueflow、Vici、Venovo和Abre 4种支架延伸至腹股沟以下进行锚定,其1年和2年的一期通畅率分别为93.7%和92.1%。值得注意的是,Wallstent支架的编织设计方式,在跨腹股沟韧带锚定时,其远期通畅率的优越性逐渐被验证。Zhou等^[16]应用Wallstent支架进行跨腹股沟韧带锚定,其一期和二期通畅率分别达90.5%和92.5%。因此,即使支架远端需要跨越腹股沟韧带锚定,也需要选择正常的静脉段作为锚定区,其ISR发生率可能显著降低。

2.1.4 髂股静脉内慢性血栓或残余血栓的持续影响

髂股静脉内慢性血栓或残余血栓的持续病理存在,可引起管腔内持续的炎性反应,以完成血管腔的自我修复^[17]。当前,针对急性髂股静脉血栓形成(deep venous thrombosis, DVT),在快速血栓清除后是否需要同期进行支架置入仍存争议。争论的焦

点之一是髂股静脉内残余血栓的存在可能影响髂股静脉支架的远期通畅率。残余血栓被认为是一种慢性血栓的持续病理存在。研究表明,为保证急性髂股静脉血栓形成患者的支架中远期通畅率,必须在支架置入前充分清除血栓^[14]。因此,准确评估急性髂股 DVT 术中快速血栓清除效率是决定同期支架置入可行性的关键。当前临床应用的评估方法为术中静脉造影^[12,14,18]。文献报道,当术中血栓清除效率达到 90% 以上被认为可以同期置入支架^[18]。然而, Kim 团队^[12]观察了 7 例慢性血栓后综合征并发急性 DVT 患者进行导管溶栓(catheter-directed thrombolysis, CDT)并同期 IVS,有 6 例发生了支架闭塞。由此可见,急性 DVT 在快速血栓清除术后,残余血栓负荷量仍然较大的患者,同期进行支架置入可能面临 ISR 的风险。同样, Espitia 团队^[19]通过观察 188 例接受 IVS 术的血栓后综合征患者,发现支架一期通畅率仅为 68.6%。由此,在 DVT 急性期,如果不能完全清除血栓,降低残余血栓引起的持续静脉管壁炎症反应,对支架远期通畅率可能具有积极影响。

2.2 IVS 术后远期再狭窄的影响因素

2.2.1 支架置入术后原代偿静脉属支未关闭

髂股静脉闭塞或狭窄,其远心端会出现较多属支,以代偿静脉回流,但在 IVS 术后,这些属支未闭可能会导致 ISR^[20]。吴鸿飞等^[21]发现在髂股静脉支架术后静脉属支的存在显著影响支架通畅率;其中支架闭塞组中有 47.6% 患者其代偿静脉属支未关闭,显著高于支架通畅组(26.2%)。Ye 等^[13]通过 118 条下肢发生髂股静脉支架闭塞后危险因素分析后也得出了类似结论。可能原因为源于既往存在的原代偿静脉属支的血液分流导致了支架内血流速度降低,支架内的血液停留时间增加,增加了支架内血栓形成的风险。由此可见,髂股静脉支架术后原代偿静脉属支未关闭是导致 ISR 的高危因素之一,需要更大样本的临床发现以进一步确认代偿静脉属支的功能。

2.2.2 急性 DVT 后同期行 IVS 术前长期抗凝的影响

目前已有研究证实急性髂股静脉 DVT 同期行支架置入术后的 ISR 与长期抗凝依从性有关^[22]。然而,支架远期通畅率与术前长期抗凝可能存在负相关^[19]。Espitia 等^[19]观察了 55 例急性 DVT 并同期 IVS 患者,中位随访 29.3 月后发现,支架一期通

畅率为 83.6%,通过多因素分析发现在血栓事件发生前存在长期抗凝是支架一期通畅性较差的唯一相关因素。提示这些患者存在重度血栓形成倾向,可能解释了尽管接受抗凝治疗,但血栓仍会复发。然而,由于所纳入的病例规模较小,其结果应谨慎解读。在未来的研究中,需要进一步扩大样本量,以观察血栓高危患者人群抗凝的临床效应。

2.3 ISR 发生机制

ISR 的发生机制尚不明确,其不同影响因素之间的交互作用对 ISR 的病理改变亦不清楚。有文献报道,经诱导血栓后的山羊模型进行取栓及 IVS,早期发现支架被由多种血栓组成成分所构成的新生内膜所覆盖,随后逐渐增厚,演变为大量纤维组织及平滑肌细胞,作为新生内膜的重要组成部分;同时,光学相干断层扫描显示,由于炎症反应,受损的内膜增厚,并且有少量残留的附壁血栓,内膜炎症和残余血栓的存在可能导致了血小板聚集,激活凝血过程,从而平滑肌细胞迁移和增殖,导致 ISR^[23]。在以人类为样本的研究中也发现了相似的新生内膜增生规律。Hoshino 团队^[24]应用血管镜对 4 例髂静脉支架植入后的患者进行模拟病理显示支架置入后 1 年内,支架支柱逐渐被新生内膜覆盖。后续随访期间,新生内膜覆盖率没有变化,表明新生内膜增殖逐渐进行,并且新生内膜重塑长达 1 年。表明 ISR 的原因可能是新生内膜过度增厚,并非血栓形成。随着静脉腔内减容技术的进步,人类髂股静脉 ISR 在不同时期的病理改变有望被详细揭示。

3 IVS 后再狭窄的血流动力学特点

3.1 对流入道的评估

IVS 后可影响流入道的剪切速率和管壁剪切应力(wall shear stress, WSS)的变化,这可能会增加 ISR 的风险。通常使用公式(1)^[10]进行计算。

$$\text{剪切速率} = \frac{4 \times \text{时间平均速度}}{\text{流入面积}} \quad \text{公式(1)}$$

Jayaraj 等^[10]在多个预测 ISR 的变量中,发现流入道管腔面积和剪切率是发生 ISR 的危险因素。其中,流入道管腔面积 < 125 mm² 的 HR = 1.88 (P = 0.02)。剪切率 > 100 s⁻¹ 时,第 1 天的 HR = 6.70 (P < 0.000 1),第 3 个月的 HR = 4.53 (P < 0.000 1);提示较高的剪切率可降低 ISR 的风险。支架的放置改变了剪切速率,可致静脉狭窄的缓解及其对半径和速度的影响,

以及新的“静脉壁”的产生。因此,支架置入术的目标必须是增加管腔半径,同时增加流速,以提供剪切率的净增加。如果以降低速度为代价增加管腔半径,则剪切速率将下降,这可能导致ISR的发生。另外,Li等^[25]认为管壁剪切应力应在合理范围内,以维持血管的正常生理状态。 $>2.0\text{ Pa}$ 的管壁剪切应力可破坏血管内皮细胞^[26]。在支架置入后, $>2.0\text{ Pa}$ 的管壁剪应力面积由术前的 174 mm^2 增加到术后的 331 mm^2 ,且术后壁剪应力最大值(4.77 Pa)提高至术前的1.6倍(2.94 Pa)^[25]。因此,支架置入所获得的大管壁剪切应力的长期影响可能会损害髂静脉血细胞和管壁细胞,从而可能引起ISR的发生。

3.2 对流出道的评估

支架的置入会导致髂静脉流出道与下腔静脉间压力梯度降低以及一系列血流动力学变化。Li等^[25]研究发现,患者术前髂静脉流出道与下腔静脉间压力梯度(Δp) 139 Pa ,在术后 Δp 降为 5 Pa ,患者的症状显著改善。Hu等^[27]研究发现,在IVS后,不仅髂静脉汇入下腔静脉处的时间平均壁剪应力降低,以及震荡剪切指数、停留时间比升高,血流速度降低,产生了涡流,提示血栓形成的风险增加。如果支架置入下腔静脉深度增加,对血流的干扰将更加明显。相似的结果在其他文献中也有报道^[28-29]。由此,从流体力学角度看,支架在髂静汇入下腔静脉处的血流动力学的不同变化,对ISR的影响是不同的。

3.3 不同支架设计对ISR的影响

不同支架设计对髂静脉内血流动力学的影响可能不同。Hu等^[27]应用粒子图像测速技术分别观察Vena(德国Venmedtch)、Venovo(美国Bard)和Smart(美国Cordis)共3款支架在体外髂静脉模型中的反应,结果显示:致密的支架结构,会导致对血流的干扰更加明显,尤其是在低速区;支架前端的冠状设计可减少对侧血流的影响,从而降低血栓形成的风险;支架植入深度对髂静脉血流场有显著影响,当支架未延伸至下腔静脉时,其血流扰动最小;随着支架置入深度增加,髂腔静脉交界区血栓形成的风险升高。Li等^[29]应用同样的方法比较Vena和Cook支架的反应后发现,支架的冠状设计有助于减少支架对血流动力学的干扰。这些数据的获取,为未来支架设计提供了科学依据。

3.4 IVS术后血管形态变化

IVS可以改变血管的几何形状。Li等^[25]应用流体力学分析了左髂静脉闭塞并置入 $14\text{ mm}\times$

80 mm 编织支架的患者,发现支架将线性的血管腔弯曲成一条近似 120° 的折角,而且引起了支架远端锚定区血管直径缩窄。这可能是由于支架的径向和弯曲刚度过大导致血管角大、直径缩窄,血管壁会发生形变以适应支架。这样的结局可能会产生较大的壁剪应力,导致血管内皮受损,增加血栓形成的风险。

4 治疗

ISR再干预的手术指征是患者初始临床症状复发,生活质量严重受损,而不是ISR的严重程度^[10]。目前最常用的再干预手术方式为高压球囊扩张成形术^[30]。此外,激光消融与定向斑块旋切术在ISR的治疗中也取得了较好效果^[31-32]。ISR发生后再次成功干预的难度较大。而且,即使在术中工作导丝成功通过闭塞段,术者也很难选择更好的方法进行有效的管壁减容或管腔减容,或维持管腔的长期再通。其根本原因是ISR的真实病理变化不明确。Lei等^[33]发现ISR增生的静脉内膜中有丰富的胶原基质而非弹性蛋白,且细胞较少,新生血管较少;并应用紫杉醇包被药涂球囊进行干预治疗获得了较好的临床效果。明确ISR的病理特征是治疗本病的根本前提,可为未来静脉管壁或管腔减容提供理论支持。

5 总结与展望

总之,髂股静脉ISR的发生源于髂股静脉流入道和流出道的解剖特点、不同支架的特征以及髂股静脉血栓后的病理变化和相应的血流动力学改变。而其发生后再干预的解剖效果并不理想。因此,需要探索更好的预防措施,提升患者的随访依从性,并优化静脉专用支架的力学设计或开发有效的药物支架;同时,明确现实世界中ISR的病理特征,寻找更好的静脉减容方法,是未来ISR预防和治疗的的方向。

参考文献:

- [1] Taha MAH, Busutil A, Bootun R, et al. A clinical guide to deep venous stenting for chronic iliofemoral venous obstruction[J]. J Vasc Surg Venous Lymphat Disord, 2022, 10(1): 258-266.

- [2] Saleem T, Raju S. An overview of in-stent restenosis in iliofemoral venous stents[J]. *J Vasc Surg Venous Lymphat Disord*, 2022, 10(2): 492-503.
- [3] 中国医师协会血管外科医师分会静脉学组, 史振宇, 吴丹明. 常见静脉疾病诊治规范(2022年版)[J]. *中华血管外科杂志*, 2022, 7(1): 12-29.
Venous Group of Vascular Surgery Committee of Chinese Medical Doctor Association, SHI Zhenyu, WU Danming. Diagnosis and treatment standard of common venous diseases(2022 version)[J]. *Chinese Journal of Vascular Surgery*, 2022, 7(1): 12-29.
- [4] Kassab G, Raju S. Grading venous stenosis is different from arterial lesions[J]. *J Vasc Surg Venous Lymphat Disord*, 2019, 7(2): 151-152.
- [5] Bai H, Kibrik P, Shaydakov ME, et al. Indications, technical aspects, and outcomes of stent placement in chronic iliofemoral venous obstruction[J]. *J Vasc Surg Venous Lymphat Disord*, 2024, 12(5): 101904. doi: 10.1016/j.jvsv.2024.101904
- [6] Saleem T, Raju S. Comparison of intravascular ultrasound and multidimensional contrast imaging modalities for characterization of chronic occlusive iliofemoral venous disease: a systematic review[J]. *J Vasc Surg Venous Lymphat Disord*, 2021, 9(6): 1545-1556.
- [7] Lau I, Maximilian Png CY, Eswarappa M, et al. Defining the utility of anteroposterior venography in the diagnosis of venous iliofemoral obstruction[J]. *J Vasc Surg Venous Lymphat Disord*, 2019, 7(4): 514-521.
- [8] Jayaraj A, Powell T, Raju S. Utility of the 50% stenosis criterion for patients undergoing stenting for chronic iliofemoral venous obstruction[J]. *J Vasc Surg Venous Lymphat Disord*, 2021, 9(6): 1408-1415.
- [9] Yang YH, Zhao Y, Chen Z, et al. The effect of stent compression on in-stent restenosis and clinical outcomes in iliac vein compression syndrome[J]. *Quant Imaging Med Surg*, 2021, 11(6): 2245-2252.
- [10] Jayaraj A, Fuller R, Raju S, et al. In-stent restenosis and stent compression following stenting for chronic iliofemoral venous obstruction[J]. *J Vasc Surg Venous Lymphat Disord*, 2022, 10(1): 42-51.
- [11] Fu J, Tang B, Wang HY, et al. Stent characteristics of 32 patients with early (< 14 days) iliofemoral stent occlusion[J]. *J Vasc Surg Venous Lymphatic Disord*, 2021, 9(4): 881-887.
- [12] Kim MS, Park HS, Hong HP, et al. Risk factors for stent occlusion after catheter-directed thrombolysis and iliac vein stenting in the treatment of May-Thurner syndrome with iliofemoral deep vein thrombosis: a retrospective cohort study[J]. *Quant Imaging Med Surg*, 2022, 12(12): 5420-5432.
- [13] Ye KC, Lu XW, Jiang ME, et al. Technical details and clinical outcomes of transpopliteal venous stent placement for postthrombotic chronic total occlusion of the iliofemoral vein[J]. *J Vasc Interv Radiol*, 2014, 25(6): 925-932.
- [14] Avgerinos ED, Saadeddin Z, Abou Ali AN, et al. Outcomes and predictors of failure of iliac vein stenting after catheter-directed thrombolysis for acute iliofemoral thrombosis[J]. *J Vasc Surg Venous Lymphat Disord*, 2019, 7(2): 153-161.
- [15] Ardita V, Galati N, Miglioranza E, et al. Endovascular treatment of chronic ilio-femoral vein obstruction with extension below the inguinal ligament in patients with post-thrombotic syndrome[J]. *J Vasc Surg Venous Lymphat Disord*, 2024, 12(3): 101816. doi: 10.1016/j.jvsv.2024.101816
- [16] Zhou YD, Guan YB, Xue M, et al. Clinical outcomes of stenting extending below the inguinal ligament for treatment of chronic iliofemoral venous obstruction[J]. *Ann Vasc Surg*, 2021, 75: 259-266. doi: 10.1016/j.avsg.2021.01.115
- [17] Pu HJ, Lei JH, Du GD, et al. Antiproliferative agent attenuates postthrombotic vein wall remodeling in murine and human subjects[J]. *J Thromb Haemost*, 2025, 23(1): 325-340.
- [18] Ozcinar E, Dikmen N, Kayan A, et al. Pharmacomechanical thrombectomy and catheter-directed thrombolysis, with or without iliac vein stenting, in the treatment of acute iliofemoral deep vein thrombosis[J]. *J Cardiovasc Dev Dis*, 2024, 11(7): 214. doi: 10.3390/jcdd11070214
- [19] Espitia O, Douane F, Hersant J, et al. Predictive factors of stent patency in iliofemoral venous diseases in a multi-centre cohort study[J]. *Eur J Vasc Endovasc Surg*, 2023, 65(4): 564-572.
- [20] van Vuuren TM, Doganci S, Toonder IM, et al. Venous stent patency may be affected by collateral vein lumen size[J]. *Phlebology*, 2019, 34(1): 32-39.
- [21] 吴鸿飞, 肖占祥, 曾昭凡, 等. 髂静脉支架置入术后支架闭塞的危险因素分析[J]. *中国普通外科杂志*, 2022, 31(12): 1605-1611.
WU Hongfei, XIAO Zhanxiang, ZENG Zhaofan, et al. Analysis of risk factors for stent occlusion after iliac vein stenting[J]. *Chinese Journal of General Surgery*, 2022, 31(12): 1605-1611.

- [22] Pouncey AL, Kahn T, Morris RI, et al. Risk factors and classification of reintervention following deep venous stenting for acute iliofemoral deep vein thrombosis [J]. *J Vasc Surg Venous Lymphat Disord*, 2022, 10(5): 1051-1058.
- [23] Li GQ, Hu B, Sun Y, et al. Histological features of in-stent restenosis after iliac vein thrombus removal and stent placement in a goat model [J]. *J Vasc Interv Radiol*, 2024, 35(4): 611-617.
- [24] Hoshino Y, Yokoi H. Angioscopic evaluation after venous stents [J]. *J Vasc Surg Venous Lymphat Disord*, 2023, 11(1): 136-142.
- [25] Li CQ, Zhan YQ, Wang ZM, et al. Effect of stent treatment on hemodynamics in iliac vein compression syndrome with collateral vein [J]. *Med Eng Phys*, 2023, 115: 103983. doi: 10.1016/j.medengphy.2023.103983
- [26] 李超群, 詹焱青, 汪忠明, 等. 髂静脉压迫综合征血流动力学数值模拟 [J]. *北京航空航天大学学报*, 2024, 50(8): 2646-2654.
LI Chaoqun, ZHAN Yanqing, WANG Zhongming, et al. Numerical simulation of iliac vein compression syndrome in hemodynamics [J]. *Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics*, 2024, 50(8): 2646-2654.
- [27] Hu JM, Feng HQ, Zheng YL, et al. Mechanism of effect of stenting on hemodynamics at iliac vein bifurcation [J]. *Comput Biol Med*, 2024, 170: 107968. doi: 10.1016/j.combiomed.2024.107968
- [28] Fan ZM, Lu J, Cheng H, et al. Insights from computational fluid dynamics and in vitro studies for stent protrusion in iliac vein: how far shall we go? [J]. *Cardiovasc Eng Technol*, 2025, 16(1): 79-90.
- [29] Li CS, Feng HQ, Wang XT, et al. The influencing mechanism of iliac vein stent implantation for hemodynamics at the bifurcation [J]. *Comput Methods Biomech Biomed Engin*, 2023, 26(12): 1452-1461.
- [30] Raju S, Knight A, Buck W, et al. Caliber-targeted reinterventional overdilation of iliac vein Wallstents [J]. *J Vasc Surg Venous Lymphat Disord*, 2019, 7(2): 184-194.
- [31] Robertson C, Varcoe RL, Black S, et al. Histopathology of ilio caval venous in-stent restenosis treated with directional atherectomy [J]. *J Endovasc Ther*, 2019, 26(5): 742-746.
- [32] Jayaraj A, Fuller R, Raju S. Role of laser ablation in recalcitrant in-stent restenosis post iliofemoral venous stenting [J]. *J Vasc Surg Cases Innov Tech*, 2021, 7(2): 298-301.
- [33] Lei JH, Pu HJ, Zhang LJ, et al. Drug-coated balloon therapy for in-stent restenosis in patients with iliofemoral deep vein thrombosis: a single-arm observational study [J]. *Catheter Cardiovasc Interv*, 2024, 103(5): 752-757.

(编辑:房红娟)